

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-365599

(P2002-365599A)

(43) 公開日 平成14年12月18日 (2002. 12. 18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 2 F 1/01		G 0 2 F 1/01	C 2 H 0 4 7 F 2 H 0 7 9
G 0 2 B 6/12		G 0 2 B 6/12	J N Z
審査請求 未請求 請求項の数20 OL (全 10 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-116966(P2002-116966)

(22) 出願日 平成14年4月19日 (2002. 4. 19)

(31) 優先権主張番号 8 4 6 8 5 6

(32) 優先日 平成13年4月30日 (2001. 4. 30)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

AGILENT TECHNOLOGIES  
S, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト ページ・ミル・ロード 395  
395 Page Mill Road P  
alo Alto, California  
U. S. A.

(74) 代理人 100105913

弁理士 加藤 公久

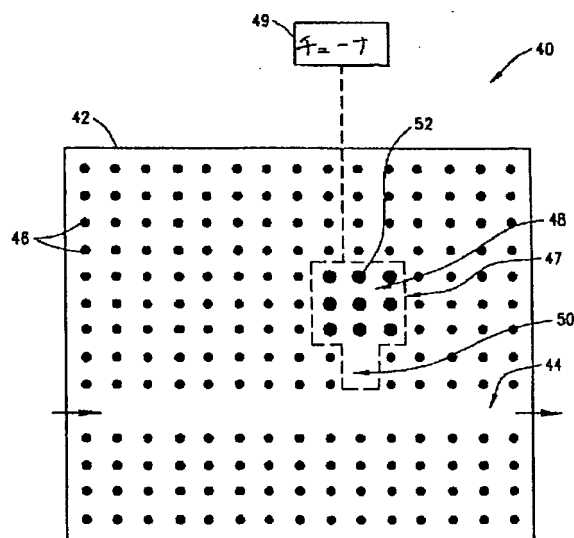
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振スタブチューナを備えたスラブ型フォトニック結晶導波路

(57) 【要約】

【課題】 フォトニック結晶導波路装置により、狭帯域の光学的な変調器或いは調節可能な狭い通過帯域スイッチを実現すること。

【解決手段】 本発明によるフォトニック結晶導波路装置 (40、60、70) は、フォトニック結晶 (42) と、フォトニック結晶 (42) のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能なフォトニック結晶 (42) 中の導波路 (44) と、導波路 (44) 中の光を制御するために接続された共振スタブ (47) とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 フォトニック結晶と、

前記フォトニック結晶のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な前記フォトニック結晶中の導波路と、

前記導波路中の光を制御するために接続された共振スタブとを有することを特徴とするフォトニック結晶導波路装置。

【請求項2】 前記共振スタブが、共振器領域と、前記共振器領域と前記導波路を接続する接続チャンネルとを有することを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項3】 接続チャンネルが、前記導波路の側壁から直角に延びていることを特徴とする請求項2に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項4】 前記フォトニック結晶が、周期的な格子を備え、

前記導波路が、前記周期的な格子中に第1の欠陥を備え、

前記接続チャンネルが、前記周期的な格子中に少なくとも一つの第2の欠陥を備えていることを特徴とする請求項2に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項5】 前記共振器領域が、前記周期的な格子の修正された部分を含んでいることを特徴とする請求項4に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項6】 前記周期的な格子が、アレイ状の柱を備え、及び、前記共振器領域が、前記アレイ状の柱のサブアレイを備え、前記サブアレイが、前記アレイ中の他の柱とは異なる直径を備えている柱を備えていることを特徴とする請求項5に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項7】 前記共振器領域の設計パラメータが、光透過が妨げられる前記バンドギャップにおける透過率0の周波数を制御し、及び、前記接続チャンネルの設計パラメータが、前記透過率0の幅を制御し、前記共振器領域の前記設計パラメータが、前記共振器領域における多数の前記柱の少なくとも一つとそれらの直径を含み、及び、前記接続チャンネルの前記設計パラメータが、前記接続チャンネルの長さや幅の少なくとも一方と前記接続チャンネルにおける柱の有無或いは修正を含むことを特徴とする請求項6に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項8】 さらに、前記透過率0の特性を制御するチューナを有することを特徴とする請求項7に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項9】 前記チューナが、前記共振器領域中の前記柱を含む材料の誘電率を調節する誘電率チューナを有することを特徴とする請求項8に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項10】 前記誘電率チューナが、電子的な誘電率

チューナと光学的な誘電率チューナを有する群から選択された誘電率チューナを含むことを特徴とする請求項9に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項11】 前記装置が、オン／オフスイッチと変調器を含む群から選択された装置であることを特徴とする請求項8に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項12】 前記フォトニック結晶が、二次元フォトニック結晶スラブを含むことを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項13】 周期的な格子を備えたフォトニック結晶と、

前記フォトニック結晶中に設けられ、前記周期的な格子中の第1の欠陥の領域を有するとともに前記結晶格子のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な導波路と、

前記導波路の側壁から延び、さもなければ導波路を通過できる光が導波路を通過することを妨げられるバンドギャップ内における透過率0を作り出すことによって前記導波路の光透過特性を制御する共振スタブとを有することを特徴とするフォトニック結晶導波路装置。

【請求項14】 前記共振スタブが、共振器領域と、前記導波路に前記共振器領域を接続する接続チャンネルとを備え、及び、前記共振器領域のパラメータが、前記透過率0の周波数を制御し、及び、前記接続チャンネルのパラメータが、前記透過率0の幅を制御することを特徴とする請求項13に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項15】 さらに、少なくとも一つの前記透過率0の特性を制御するチューナを有することを特徴とする請求項14に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項16】 前記共振器領域が、誘電体材料のアレイ状の構造を備え、及び、前記チューナが、前記誘電体材料の誘電率を調節する誘電率チューナを有するようにしたことを特徴とする請求項15に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項17】 前記装置が、オン／オフスイッチと変調器を含む群から選択された装置であることを特徴とする請求項15に記載のフォトニック結晶導波路装置。

【請求項18】 フォトニック結晶と、前記フォトニック結晶中に設けられ、前記フォトニック結晶中のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な導波路と、及び、前記導波路に接続されてさもなければ前記導波路を通過できる光が前記導波路を通過することを妨げられる前記バンドギャップ内における透過率0を作り出すことによって前記導波路の光透過特性を制御する共振スタブとを有し、前記共振スタブが、構造を備えた共振器領域を有している調節フォトニック結晶導波路装置において、前記透過率0を制御するために前記構造の前記誘電体材料の誘電率を制御する過程を含むようにした前記透過率0を調節することを特徴とする方法。

【請求項19】 前記誘電率を調節する前記過程が、前記

導波路による光透過が許される状態と、前記導波路による光透過が許されない状態に前記透過率0を制御して光学的なオン/オフスイッチを提供する過程であることを特徴とする請求項18に記載の方法。

【請求項20】前記誘電率を調節する前記過程が、前記バンドギャップの範囲内に前記透過率0を調節して光学系な変調器を提供する過程であることを特徴とする請求項18に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フォトニック結晶（フォトニッククリスタル）の技術分野に関し、特に、共振スタブチューナを備えたフォトニック結晶導波路装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術及び発明の解決すべき課題】フォトニック結晶（PC）は、ある周波数範囲における光の伝搬を妨げることができる周期的な誘電体構造を有する。さらに詳しくは、フォトニック結晶は、屈折率を空間的、周期的に変化させ、十分に大きな屈折率差を持つことにより、光学的なバンドギャップが、構造の光透過特性に開くことができる（用語「フォトニックバンドギャップ」は、ここで使われているように当該技術分野において共通に使われているフォトニック結晶を通過する光の伝搬が妨げられる周波数範囲を指すものである。さらに、ここで使われているように用語「光」は、電磁的なスペクトルを包含し、可視光に限定されるものではない）。

【0003】フォトニック結晶の周期的な構造に欠陥を導入すると、欠陥サイトにおいて捕捉されるとともに周囲のフォトニック結晶材料のバンドギャップ内に共振周波数を備えた局所化された電磁的な状態の存在が可能となる。フォトニック結晶を貫通するような欠陥の領域を設けることによって、光を制御し且つガイドするために使える導波路構造が、作り出される。

【0004】三次元に空間的な周期性を備えたフォトニック結晶は、あらゆる方向への結晶のバンドギャップ内にある周波数を備えた光の伝搬を阻止できるが、このような構造を製造することは、技術的には挑戦となる。さらに魅力的な代替案は、内部で協働する二次元的な周期格子を備えた二次元的フォトニック結晶スラブ（平板）を用いることである。このような構造において、スラブ内を伝搬する光は、内部全反射によって平板の主面に直交する方向に制限され、従って、主面に直交しない方向へスラブ内を伝搬する光は、フォトニック結晶スラブの特性によって制御される。二次元的フォトニック結晶スラブは、標準の半導体処理のプレーナ技術に互換性又は適合性があり、その上、スラブのプレーナ構造が、スラブに発生される導波路内の光信号をさらに容易に相互作用させられるという利点を有している。これは、この構造が意欲的な装置を作り出すことが可能であるという更

に有利な要因を提供する。

【0005】理論的且つ実験的な装置として、二次元的なフォトニック結晶スラブ型導波路装置により光を効率的にガイドできる技術が既に示されている（“Demonstration of Highly Efficient Waveguiding in a Photonic Crystal Slab at the 1.5  $\mu$ m Wavelength”, S. Lin, E. Chow, S. Johnson and J. Joannopoulos, Opt. Lett. 25, pp. 1297-1299, 2000参照）。さらに、実験的な装置では、高い効率で光を伝搬することができる装置の製造可能性についても示すようにして研究開発が始まっており、これにより、優れたフォトニック結晶導波路装置が普通のに入手できるようになる前にまもなく実用化される。その結果、導波路装置のガイドされた光学モードと相互作用する潜在的なアプリケーションに関するいくつかの研究が既に存在している。このようなアプリケーションは、静的な（固定波長の）或いは調節可能なチャンネルドロップフィルタと、調節可能な共振マイクロキャビティ欠陥（米国特許第6,058,127号参照）を内容としている。

【0006】調節可能な共振マイクロキャビティ欠陥に基づいた光学的な変調器と光スイッチもまた、文献に開示されている。これらの装置において、伝搬軸に沿って一次元的な周期的誘電体フォトニック結晶構造を備えた導波路構造が開示されている。このフォトニック結晶構造は、導波路における透過特性の周波数停止帯域を発生させる。さらに、周期構造に欠陥が導入され、局所化された共振モードが、導波路の周波数停止帯域内に発生される。この共振モードは、導波路のガイドされたモードが欠陥共振の周波数に精密に合致する周波数を備えるとき、欠陥の一方の側から他方の側へのトンネリング又は通過を可能にする。このようにして、光が導波路を伝搬し、共振欠陥を通過し、比較的高い効率で導波路を移動し続けることができる。

【0007】本発明は、この種の装置で、装置の導波路中の光透過を制御するフォトニック結晶導波路装置を提供するものであり、装置の共振欠陥領域における誘電率が、いかにして放出流或いは光学的な非直線性によって変化して共振周波数の調節を可能にし、これにより狭帯域の光学的な変調器或いは調節可能な狭い通過帯域スイッチを実現することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による具体的なフォトニック結晶導波路装置は、フォトニック結晶、フォトニック結晶のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能なフォトニック結晶中の導波路と、及び、導波路中の光を制御するために導波路に接続される共振スタブを有している。

【0009】本発明の第1の実施形態では、共振スタブは、共振器領域と、共振器領域と導波路を接続する接続チャンネルとを有し、共振器領域と接続チャンネルは、導波路中の光の透過特性を制御するように協働する。特に、共振器領域と接続チャンネルは、導波路によって透過され得る光が透過されることを妨げる「透過率0」と呼ばれる周波数範囲をフォトニック結晶のバンドギャップ内に作り出すように機能する。透過率0の周波数は、透過率0の幅が接続チャンネルのパラメータの関数であるのに対して、共振器領域の共振周波数の関数である。従って、共振器領域と接続チャンネルとのパラメータを制御することによって、透過率0の周波数とその幅を制御できる。

【0010】本発明の第2の実施形態において、導波路は、フォトニック結晶を貫通するフォトニック結晶の周期格子内の第1の欠陥領域を備え、接続チャンネルは、導波路に接続されるとともに導波路の側壁から角度を持って延びている周期格子内の一つ或いはそれ以上の第2の欠陥を備えている。共振器領域は、周期格子が適当なやり方で修正されて共振器室を形成するフォトニック結晶内の領域を有する。

【0011】本発明の第3の実施形態において、フォトニック結晶の周期格子は、アレイ状の柱からなり、導波路は、柱の単一線を除去することによって作り出される。接続チャンネルは、格子中の二つの追加の柱を除去して短いチャンネルを形成し、これは導波路に接続されるとともに導波路の側壁から直角に延びる短いチャンネルを形成する。共振器領域は、格子中の他の柱の直径よりも大きな直径である柱の3×3サブアレイを備えたほぼ正方形の領域を備えている。領域中の柱の数や柱の大きさのような共振器領域のパラメータを制御することによって、共振器領域の共振周波数、従って、透過率0のスペクトル位置が、効果的に制御される。その長さや幅のような接続チャンネルの一つ或いはそれ以上のパラメータの制御によって、及び、接続チャンネルが柱、接続チャンネル中のポストの有無及び修正を含むような実施形態において、透過率0のスペクトル幅が制御できる。

【0012】本発明の第4の実施形態において、装置は、共振スタブにおける共振モードのパラメータを調節するチューナを備えている。チューナは、共振器領域における柱を構成する材料の誘電率を調節するための誘電率チューナを備えている。誘電率チューナは、例えば、電荷キャリア効果或いは電子光学効果を用いて誘電率を調節する電子的なチューナであることができる。或いは、チューナは、例えば、光屈折効果を用いて誘電率を調節する光学的チューナであることができる。チューナは、導波路透過がフォトニック結晶導波路装置のためにほぼ0透過からほとんど完全な透過までの範囲内において効果的に調節されることを可能にする。この能力は、調節可能な光学的フィルタが限定はされないがオン/オフ

フスイッチや光学的な変調器に使えるようなほとんどのアプリケーションを可能にするものである。

【0013】本発明によるフォトニック結晶導波路装置は、調節可能なノッチフィルタとして作動し、その際共振器の作用は、特定の調節可能な周波数において導波路の伝搬特性を透過率0にする純粋に反射体としてである。本発明の装置は、従って、従来周知である他の調節されたフォトニック結晶装置とは基本的に異なるものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、本発明の好適実施形態となるフォトニック結晶導波路装置について詳細に説明する。本発明のさらに他の利点と特定の構成は、本発明の好ましい実施形態に対する以下の詳細な説明との関係において明らかとなるであろう。

【0015】図1は、従来周知の二次元的なフォトニック結晶スラブ（平板）を示すものであり、本発明の説明を支援するために設けられたものである。フォトニック結晶スラブは、一般的に参照番号10で示され、アレイ状の柱14をその内部に備えた平板体12を有している。図1に示されるように、柱14は、互いに平行に配置され、平板体をその表面16から底面16に貫通している。

【0016】二次元的なフォトニック結晶スラブ10は、様々な形状を取ることができる。例えば、柱14は、第1の誘電体材料により形成されたロッドを備えることができ、平板体12は、第1の誘電体材料とは異なる誘電率を備えた第2の誘電体材料により形成されたロッドを備えることができる。或いは、柱は、誘電体材料の平板体中に形成された孔であることができ、或いは、柱は、誘電材料のロッドであって、平板体は、空気、他の気体或いは真空であることができる。さらに、柱は、柱の正方形のアレイとなるように配置され、或いは、矩形のアレイ或いは三角形のアレイのような異なる形状に配置することができる。

【0017】図1に示されるような二次元的なフォトニック結晶スラブにおいて、スラブ内を伝搬する光は、内部全反射によって平板面16と18に直交する方向に制限される。平板面に直交しない方向へのスラブ内での光の伝搬は、しかしながら、スラブの空間的且つ周期的な構造によって制御される。特に、空間的且つ周期的な構造は、この構造の透過特性における光バンドギャップを開いて、その内部でのスラブを通過する光の伝搬を妨げる。特に、平板面に直交しない方向への図1に示される二次元的なフォトニック結晶スラブにおけるスラブのバンドギャップに周波数を備えた光の伝搬は、このバンドギャップ外の周波数を備えた光は妨げられずにスラブを通過するのに対して、スラブを通過して伝搬されない。

【0018】フォトニック結晶の周期的な格子に欠陥を導入すると、欠陥サイトにおいて捕捉され、周囲のフォ

トニック結晶材料のバンドギャップ内の周波数である共振周波数を備えた局所化された電磁的な状態の存在が可能になることが、従来周知である。適当なやり方でこれらの欠陥を配置すると、導波路がフォトニック結晶に作り出され、フォトニック結晶のバンドギャップ内に周波数を備えた光（通常はフォトニック結晶を通過して伝搬することを妨げられる光）が、フォトニック結晶を通過することになる。

【0019】図2は、従来周知の二次元的なフォトニック結晶スラブ型導波路装置30を示すものである。装置30は、空气中に矩形のアレイ状の誘電体ロッド34を配置したフォトニック結晶スラブ32を有する。フォトニック結晶スラブにおける欠陥領域は、導波路36を作り出し、包囲しているフォトニック結晶材料のバンドギャップ内に周波数を備えた光が、この導波路を伝搬することができる。図2におけるフォトニック結晶スラブにおいて、欠陥領域は、ロッド34の1列を削除することによって提供される。欠陥領域は、また他のやり方で用意することができ、例えば、ロッドの部分除去して一つ或いはそれ以上のロッド列を変化させることにより、或いは、ロッドの直径を変化させることにより用意できる。欠陥領域は、図2に示される如く直線状の導波路を形成するように直線状に延ばすことができ、或いは、この領域は、湾曲した導波路を形成するように、例えば、90度湾曲した湾曲を含むように配置されても良い。

【0020】図2の二次元的なフォトニック結晶スラブ型導波路装置30の透過特性を説明するために、この装置を用いて行なわれたシミュレーションの実施形態を以下に記述する。以下に詳述する他のシミュレーション同様このシミュレーションは、2-dimensional Finite Difference Time-Domain (FDTD) techniques (“Computational Electrodynamics, the Finite-Difference Time-Domain Method”, A. Taflov, Artech House, 1995参照)を用いて実施された。

【0021】シミュレーションにおいて、フォトニック結晶導波路装置は、空气中の正方形アレイ状に配置された誘電体ロッドを備えていた。このロッドは、 $a_0$ がロッド間距離であるとしたとき、 $0.18a_0$ の半径を有していた。このシミュレーションに対して、空気に対するロッドの誘電率は、11.4であると考えられた。

【0022】上の計算から、無限のフォトニック結晶材料は、計算可能なバンドギャップ内のTM電磁波を伝搬しないことが明らかである (“Photonic Crystals”, J. Joannopoulos, R. Meade and J. Winn, Princeton University Press, 1995参照)。このバンドギャップは、約0.32の低い周波数

から約0.45の低い周波数に達しており、この低い周波数は、 $c$ が真空中の光速であるとしたとき、 $(c/a_0)$ の単位で定義される。図2に示すようにロッドの列を除去してフォトニック結晶材料中に作られた導波路は、光バンドギャップ内にある周波数を備えた光を通過させる。このバンドギャップ外の周波数を備えた光に対して、フォトニック結晶は、光線を制限しないので、導波路は非常に高い損失を生じるものとなる。

【0023】図3は、上述したパラメータを備えた図2に示された導波路装置を用いて実行されたシミュレーションの結果を示すグラフである。プロットされているのは、低くされた周波数の関数としての導波路を通過するパワーである。図示のように、導波路は、フォトニック結晶バンドギャップ内にある周波数に対して比較的平坦な透過特性を有している(約0.32~約0.45)。

【0024】上述のシミュレーションと実行された他の理論的な及び実験的な作業は、二次元的なフォトニック結晶平スラブ型導波路を通過する光を効率的に導く能力を明らかにした。

【0025】図4は、本発明による実施形態に従って、二次元的なスタブ調節されたフォトニック結晶導波路装置を示すものである。装置は、一般的に参照番号40で示され、二次元的なフォトニック結晶スラブ42を含み、これを貫通するとともに図2との関連において述べたようにアレイ中のロッド46を一列除去することによって形成された導波路44を備えている。さらに、フォトニック結晶スラブ42は、導波路44の側壁から延びて導波路中の光を制御する共振スタブ47を備えている(破線で示されている)。共振スタブ47は、共振器領域48と接続チャンネル50を含んでいる。

【0026】図4に示されている実施形態において、接続チャンネル50は、導波路44に直交する方向に導波路の側壁から延びて、アレイ状の柱から二つの柱46を除去することによって作り出されている。共振器領域48は、一般的に柱46の直径よりも大径の $3 \times 3$ のサブアレイ状の柱52を備えた正方形領域を含んでいる。図4から明らかなように、接続チャンネル50は、共振器領域48と導波路44を接続する短い導波路部分を備えている。

【0027】図4のスタブ調節されたフォトニック結晶導波路装置は、実行されたシミュレーションを説明することによって明確になる。このシミュレーションにおいて、アレイ状の柱46の半径は、図2のシミュレーションに関して説明された $0.18a_0$ であり、前述したように、導波路44は、柱の列を除去することによって作られた。接続チャンネル50は、導波路44に直角に延びる短い接続チャンネル50を決定するために、柱46の2つを除去することによって作られた。共振器領域48は、それぞれ $0.25a_0$ の半径を備えた $3 \times 3$ のサブアレイ状の柱52を設けることによって作り出され

る。

【0028】図5は、図3と同様のグラフであり、上述したパラメータを備えた図4に示される装置を用いて実行されるシミュレーションの結果を示している。シミュレーションの結果は、図2の導波路装置の導波路透過特性が図5において破線で示された鋭い透過率0によって修正されたものを示している。この透過率0は、さもないければ導波路44を通過できる光（図3に示されるように）が導波路を通過することを妨げられるバンドギャップ内の狭い周波数範囲である。透過率0の周波数は、接続チャンネルの特性が共振器領域と導波路44間の接続を制御するものであるのに対して、3×3共振器領域48の共振周波数に対応している。接続は、共振器領域の品質係数（Q係数）を制御し、従って、透過率0の帯域幅を制御する。

【0029】共振周波数においてスタブによって光がブロックされる物理的な機構をさらに説明するために、図6（a）と図6（b）は、それぞれ透過率0（すなわち、 $\nu=0.395$ において）から離れた及び透過率0の中心（すなわち、 $\nu=0.384$ において）における周波数に対する計算された場の大きさの輪郭のプロットである。スタブは、図6（a）に示されるように、透過率0から離れた周波数に対する伝搬導波路とほとんど相互作用しない。しかしながら、透過率0に近い周波数に対して、スタブの共振器領域は、大量の電磁的なエネルギーを有している。このエネルギーは、図6（b）に示されるように、入射光線を全反射する大きさと位相を持って導波路内に戻ってくる。

【0030】図4のフォトニック結晶スタブ調節導波路装置は、導波路44における光を制御するために大きな設計上の柔軟性を提供する。例えば、共振器領域のパラメータを制御することによって、共振器領域の共振周波数が制御可能となり、従って、透過率0の周波数を制御することとなる。接続チャンネルのパラメータを調節することによって、共振器領域と導波路間の接続が調節される。これは、換言すれば、共振器領域の品質係数を制御して透過率0の帯域幅を制御することになる。制御可能な共振器領域パラメータは、例えば、領域を構成する柱の数、及び、柱の直径を含み、これらは共に共振周波数の決定に寄与する。制御可能な接続チャンネルパラメータは、例えば、チャンネルの長さ、及び、チャンネルから除去される柱の数、及び、チャンネルに含まれる柱の数と柱の直径（実施形態においては、柱は、接続チャンネル内に含まれる）を含み制御可能となる。

【0031】本発明のさらに他の実施形態によれば、導波路の透過特性を制御する導波路装置の共振スタブの設計パラメータの制御に加えて、チューナが、スタブの共振モードのパラメータを調節することによってさらに透過特性の制御を可能にする。図4に概略の構成が参照番号49として示されているチューナは、共振器領域内の

柱を含む材料の誘電率を調節するための誘電率チューナを備えていることが好ましい。このような誘電率チューナは、当業者にとって従来周知であり、従って、ここでの詳細な説明は必要が無いが、電子的或いは光学的な構造を有することができる。例えば、電子的な誘電率チューナは、電荷キャリア効果或いは電子光学効果を使うことができる。光学的な誘電率チューナは、光屈折効果を使うことができる。これらの効果のすべては光学的な周波数レジーム中では比較的小さいが、本発明における装置の適切な調節のためには十分な大きさとなる。

【0032】図7は、共振器領域における柱の有効誘電率の関数として計算された図4の「調節されない」スタブ導波路装置の透過率0の周波数に対応する固定の周波数における入射光に対する導波路透過を示すプロットである。共振器領域の柱が11、4である公称誘電体値を有するとき、導波路透過は、事実上0となる。共振器領域における柱の誘電率は数パーセントだけ調節されるので、導波路透過は、図3に示されているようなチューナ無しにフォトニック結晶導波路に対して計算された最大限の値に近づく。図8（a）と図8（b）は、それぞれ公称値0透過の場合と共振器領域の誘電率が4%だけ増加されたときの場合に対する計算された場の大きさの輪郭のプロットである。示されている振舞いは、誘電率がプロットされた全範囲にわたって一方の値から他方の値へ切り換えられるようなオン／オフ光スイッチの作動に明らかに対応している。記述されている振舞いは、また誘電率が中間値について調節されるとき光変調器の作動に明らかに対応している。

【0033】上述されたシミュレートされた性能は、本発明による装置の作動特性が多くの方で修正できるという説明のみを意図したものである。例えば、導波路と共振器領域間の接続チャンネルの修正により接続を減らすことによって、図5に示される0ノッチの幅は、小さくでき、共振器領域ポートの誘電率調節に対する感度を高めることができる。これは、誘電率の非常に小さな変化で切り換えを達成するが、周波数調節範囲を小さくされる。本発明によるフォトニック結晶導波路装置の特定の作動特性を修正することに述べられたすべての方法は、他の方法と同様に、当業者には従来周知のことであり、この点に関して本発明を限定するものではないことは明らかであろう。

【0034】上述されたシミュレーションは、構成している誘電体柱に平行な寸法の効果を見捨て二次元的に実行されたものであることも明らかである。三次元へのこの種の構造の一般化は、計算結果にいくらかの量的な差を生じるが、量的に作動可能な物理的な特性は維持されている。

【0035】前述された二次元的な構造に協働するフォトニック結晶格子構造は、多数の三次元的な実現が可能である。二つの具体的な三次元的な構成が、図9（a）

と図9(b)に示されており、誘電体柱が有限長であることを明らかにしている。図9(a)に示されている構造60において、フォトニック結晶柱部分62を構成する柱ユニットは、それぞれの柱ユニットを基板68に支持されつつ、上方及び下方のクラッド層柱部分64と66間に挟まれている。図9(b)に示されている構造70は、上方のクラッド層柱部分64を備えていない。

【0036】上述したように図4に示される装置において、柱に平行な寸法の光学的な制限は、この寸法における光の内部全反射を生じさせるフォトニック結晶領域のより大きな誘電率によって行なわれる。他の認識を誘電体或いは金属体である二つの反射面間に「挟まれた」フォトニック結晶の柱に持たねばならず、これは、柱に対して平行な寸法における制限の必要性を与えるものである。

【0037】上述したフォトニック結晶導波路装置は一般的に空気中の誘電体柱のアレイで構成されるが、フォトニック結晶は、また誘電体基板内の気体或いは真空「充填された」孔のアレイ、或いは、ロッドの材料とは異なる誘電率を備えた誘電体材料の本体に埋め込まれる誘電体ロッドのアレイであることができることも認識されるべきである。更に、上述した実施形態は、一般的に二次元的な装置を説明したものであるが、本発明は、また同種類の作動特性を備えた完全に三次元的なフォトニック結晶装置に適用できる。

【0038】一般的に、本発明によるフォトニック結晶導波路装置は、調節可能なノッチフィルタとして働き、その場合、共振器の作用は、導波路の光学的な特性を特定の調節可能な周波数における透過率0とする純粋な反射体としてものである。前記装置は、上述したようにオン/オフ光スイッチ及び光学的な変調器として使うことができ、従って、一般的に、調節可能な光フィルタが使える、例えば、チャンネルドロップフィルタのように使うことができ、あらゆるアプリケーションを有している。調節体は、電子的或いは光学的に活性化される。

【0039】本発明における現在の好適実施形態が説明されたが、多くの他の形態をとることができるものであることは当業者にとって明らかであろう。例えば、ここで説明された実施形態は導波路から延びている単一の共振スタブを含んでいるが、他の実施形態において、二つ或いはそれ以上の共振スタブを用意することもできる。異なるパラメータを備えた共振器領域及び/或いは接続チャンネルを有する二つ或いはそれ以上の共振スタブを設けることによって、これらが互いに干渉しないように十分な距離を隔てて配置することにより、二つ或いはそれ以上の透過率0がフォトニック結晶のバンドギャップに作り出される。本発明は、様々な実施形態について説明したが、本発明は、特許請求の範囲によってのみ限定されるべきものである。

【0040】上述の好適実施形態に即して本発明を説明

すると、本発明は、フォトニック結晶(42)と、前記フォトニック結晶(42)のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な前記フォトニック結晶(42)中の導波路(44)と、前記導波路(44)中の光を制御するために接続された共振スタブ(47)とを有することを特徴とするフォトニック結晶導波路装置(40、60、70)を提供する。

【0041】好ましくは、前記共振スタブ(47)が、共振器領域(48)と、前記共振器領域(48)と前記導波路(44)を接続する接続チャンネル(50)とを有する。

【0042】好ましくは、接続チャンネルが、前記導波路の側壁から直角に延びる。

【0043】好ましくは、前記フォトニック結晶(42)が、周期的な格子(46)を備え、前記導波路(44)が、前記周期的な格子(46)中に第1の欠陥を備え、前記接続チャンネル(50)が、前記周期的な格子(46)中に少なくとも一つの第2の欠陥を備えている。

【0044】好ましくは、前記共振器領域(48)が、前記周期的な格子(46)の修正された部分を含んでいる。

【0045】好ましくは、前記周期的な格子(46)が、アレイ状の柱(46)を備え、及び、前記共振器領域(48)が、前記アレイ状の柱(46)のサブアレイを備え、前記サブアレイが、前記アレイ中の他の柱(46)とは異なる直径を備えている柱(52)を備えている。

【0046】好ましくは、前記共振器領域(48)の設計パラメータが、光透過が妨げられる前記バンドギャップにおける透過率0の周波数を制御し、及び、前記接続チャンネル(50)の設計パラメータが、前記透過率0の幅を制御し、前記共振器領域(48)の前記設計パラメータが、前記共振器領域(48)における多数の前記柱(52)の少なくとも一つとそれらの直径を含み、及び、前記接続チャンネル(50)の前記設計パラメータが、前記接続チャンネル(50)の長さの幅の少なくとも一方と前記接続チャンネル(50)における柱の有無或いは修正を含む。

【0047】さらに、前記透過率0の特性を制御するチューナ(49)を有する。

【0048】好ましくは、前記チューナ(49)が、前記共振器領域(48)中の前記柱(52)を含む材料の誘電率を調節する誘電率チューナ(49)を有する。

【0049】好ましくは、前記誘電率チューナ(49)が、電子的な誘電率チューナと光学的な誘電率チューナを有する群から選択された誘電率チューナ(49)を含む。

【0050】好ましくは、前記装置(40、60、70)が、オン/オフスイッチと変調器を含む群から選択

10

20

30

40

50

された装置(40、60、70)である。

【0051】好ましくは、前記フォトニック結晶が二次元フォトニック結晶スラブを含む。

【0052】更に、本発明は、周期的な格子を備えたフォトニック結晶(42)と、前記フォトニック結晶(42)中に設けられ、前記周期的な格子(46)中の第1の欠陥の領域を有するとともに前記結晶格子(42)のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な導波路(44)と、前記導波路(44)の側壁から延び、さもなければ導波路を通過できる光が導波路を通過することを妨げられるバンドギャップ内における透過率0を作り出すことによって前記導波路(44)の光透過特性を制御する共振スタブ(47)とを有することを特徴とするフォトニック結晶導波路装置(40、60、70)を提供する。

【0053】好ましくは、前記共振スタブ(47)が、共振器領域(48)と、前記導波路(44)に前記共振器領域(48)を接続する接続チャンネル(50)とを備え、及び、前記共振器領域(48)のパラメータが、前記透過率0の周波数を制御し、及び、前記接続チャンネルのパラメータが、前記透過率0の幅を制御する。

【0054】好ましくは、さらに、少なくとも一つの前記透過率0の特性を制御するチューナを有する。

【0055】好ましくは、前記共振器領域(48)が、誘電体材料のアレイ状の構造(52)を備え、及び、前記チューナが、前記誘電体材料の誘電率を調節する誘電率チューナを有する。

【0056】好ましくは、前記装置が、オン/オフスイッチと変調器を含む群から選択された装置である。

【0057】更に本発明は、フォトニック結晶(42)と、前記フォトニック結晶(42)中に設けられ、前記フォトニック結晶(42)中のバンドギャップ内に周波数を備えた光を透過可能な導波路(44)と、及び、前記導波路(44)に接続されてさもなければ前記導波路(44)を通過できる光が前記導波路(44)を通過することを妨げられる前記バンドギャップ内における透過率0を作り出すことによって前記導波路(44)の光透過特性を制御する共振スタブ(47)とを有し、前記共振スタブ(47)が、構造(52)を備えた共振器領域(48)を有している調節フォトニック結晶導波路装置(40、60、70)において、前記透過率0を制御するために前記構造(52)の前記誘電体材料の誘電率を制御する過程を含むようにした前記透過率0を調節することを特徴とする方法を提供する。

【0058】好ましくは、前記誘電率を調節する前記過

程が、前記導波路(44)による光透過が許される状態と、前記導波路(44)による光透過が許されない状態に前記透過率0を制御して光学的なオン/オフスイッチを提供する過程である。

【0059】好ましくは、前記誘電率を調節する前記過程が、前記バンドギャップの範囲内に前記透過率0を調節して光学系な変調器を提供する過程である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来周知の二次元的なフォトニック結晶スラブの概略の構成の斜視図である。

【図2】従来周知の二次元的なフォトニック結晶スラブの概略の構成の断面図である。

【図3】図2の導波路装置に対する周波数の関数としての入射光のパワー透過特性を示すグラフであり、各軸の数値は単位を任意にして示すものである。

【図4】本発明の実施形態による二次元的なフォトニック結晶スラブ型導波路装置の概略の構成の断面図である。

【図5】図4の導波路装置に対する周波数の関数としての入射光のパワー透過特性を示すグラフであり、各軸の数値は単位を任意にして示すものである。

【図6】(a)は、透過率0から離れた周波数についての図4の導波路装置に対する場の大きさのプロット、及び(b)は、透過率0における周波数についての図4の導波路装置に対する場の大きさのプロットである。

【図7】共振器領域における柱の誘電率の関数としての図4の正規化された透過特性を示すグラフである。

【図8】(a)は、透過率0における周波数についての及び公称値における共振器領域内の誘電率についての図4の導波路装置の場の大きさのプロット、及び(b)は、透過率0における周波数についての及び公称値よりも高い4%における共振器領域内の誘電率についての図4の導波路装置に対する場の大きさのプロットである。

【図9】(a)及び(b)は、本発明における三次元的な展開に用いることができるフォトニック結晶「柱の誘電体スラブ」の明確な三次元的な認識の二つの実施形態構成を示す概略図である。

【符号の説明】

40 フォトニック結晶導波路

42 フォトニック結晶

44 導波路

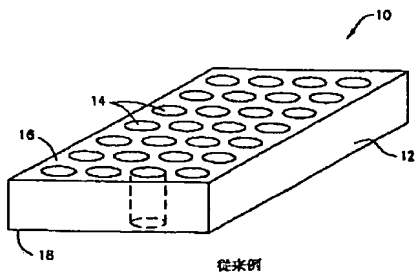
47 共振スタブ

60 フォトニック結晶導波路

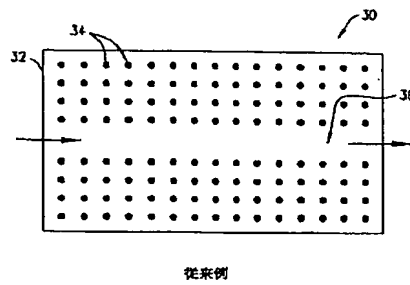
70 フォトニック結晶導波路



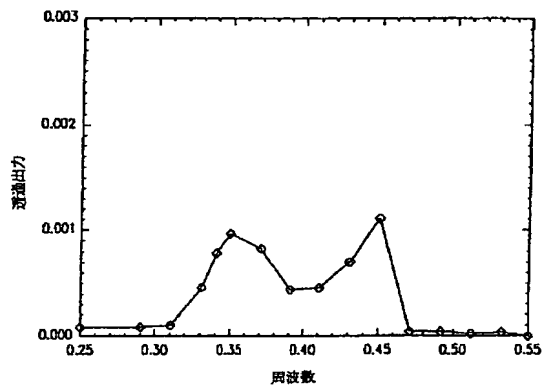
【図1】



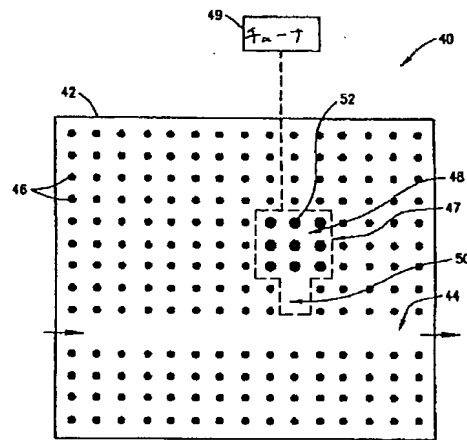
【図2】



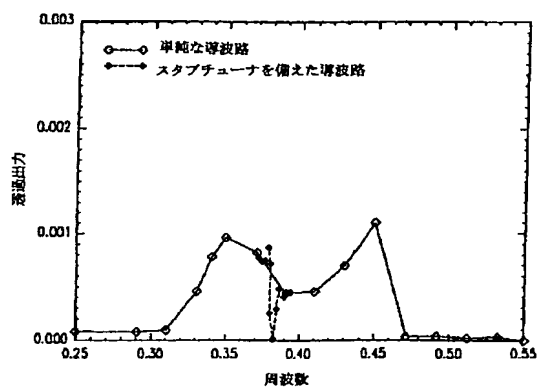
【図3】



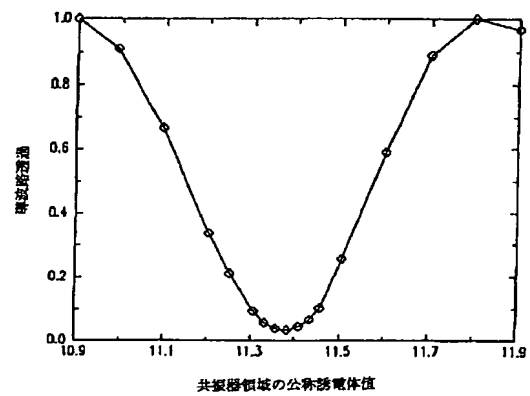
【図4】



【図5】

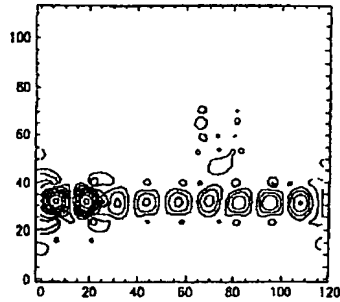


【図7】

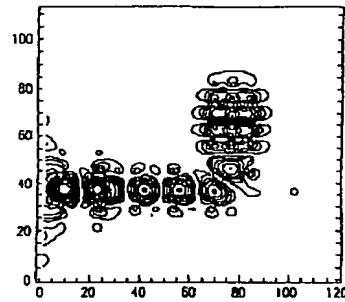


【図6】

(a)

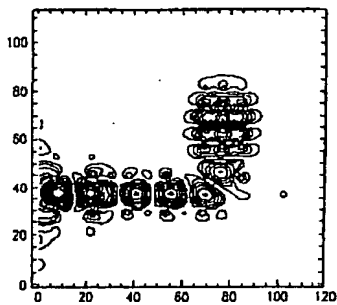


(b)

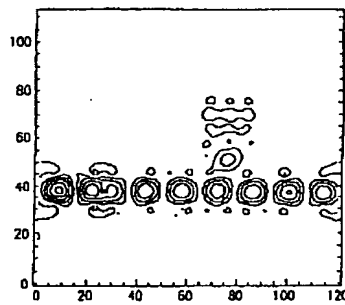


【図8】

(a)

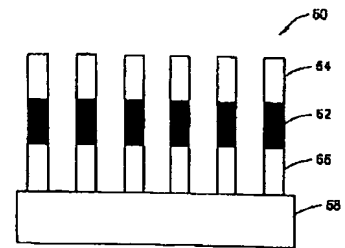


(b)

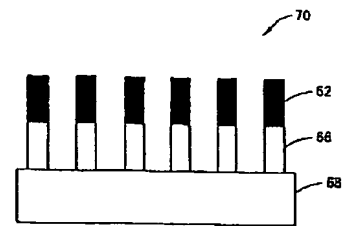


【図9】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 カート・エー・フローリー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州ロス・ア  
ルトス レイマンド・アベニュー744

(72)発明者 ミハイル・エム・シガラス  
アメリカ合衆国カリフォルニア州サンタク  
ララ サウス・ドライブ2411

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA03 NA02 RA08  
2H079 AA02 AA05 AA08 AA12 BA01  
CA05 EA02 EA03